

МЕТОДОЛОГИЯ И СРЕДСТВА СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОДЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В МЕТАЛЛУРГИИ (НА ПРИМЕРЕ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА)

В. В. Лавров¹, Н. А. Спирин¹, И. А. Гурин¹, В. Ю. Рыболовлев², А. В. Краснобаев²

¹ ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия;

² ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск, Россия

Аннотация

Как показывает опыт, создание и успешное внедрение в практику работы металлургических предприятий современных автоматизированных информационных систем во многом зависит от используемых технологий разработки и выбора инструментальных средств их программной реализации. В статье кратко отражены основные технологии и программные средства, используемые для создания программного обеспечения модулей автоматизированных информационных систем – информационно-моделирующих систем решения технологических задач в металлургии.

Основой является применение гибкой методологии разработки – Agile-метода, ориентированного на использование итеративной разработки, динамического формирования требований пользователей и обеспечение их реализации в результате постоянного взаимодействия внутри рабочих групп, состоящих из специалистов различного профиля (пользователей, аналитиков, программистов, тестировщиков). Итерация представляет собой относительно короткий промежуток времени разработки (как правило, месяц), после окончания которого пользователям предоставляется очередная протестированная версия программного продукта с новыми функциональными свойствами. Перечень реализованных функциональных свойств является для пользователей приоритетным и формируется из общего списка требований перед началом каждой итерации. В течение каждой итерации последовательно выполняются следующие процессы: проверка корректности алгоритма расчёта (при необходимости ввода новых расчетных показателей); функциональное моделирование системы; совершенствование структуры подсистемы; концептуальное моделирование базы данных, генерация даталогической модели базы данных; загрузка тестовых данных в базу данных; создание функциональных диаграмм математической библиотеки; реализация клиентского программного обеспечения подсистемы; тестирование и отладка программного обеспечения; разработка справочной документации. Управление отдельными задачами и контроль за ходом их реализации в ходе коллективной программной разработки осуществляется на основе системы Atlassian JIRA. Хранение кода и управление версиями программного обеспечения осуществляется в удаленном репозитории на платформе Atlassian Bitbucket.

Применение современных технологий, средств и методик разработки программных продуктов позволяет создавать функциональные, надежные, удобные в применении, сопровождаемые, интегрируемые системы с минимальными рисками и в приемлемые сроки.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, информационно-моделирующая система, программное обеспечение, этапы разработки, гибкая методология разработки, CASE средства, система управления версиями, доменное производство.

Abstract

Experience shows that the creation and successful introduction of modern automated information systems into the practice of metallurgical enterprises largely depends on the technologies used to develop and select the tools for their software implementation. The article briefly reflects the

main technologies and software used to create software for information modeling systems for solving technological problems in metallurgy.

The basis is the use of a flexible development methodology - the Agile method, which focuses on the use of iterative development, the dynamic formation of user requirements, and the provision of their implementation as a result of constant interaction within working groups consisting of specialists of various profiles (users, analysts, programmers, testers). Iteration is a relatively short development time (usually a month), after which the users are provided with the next tested version of the software product with new functional properties. The list of realized functional properties is priority for users and is formed from the general list of requirements before the beginning of each iteration. During each iteration, the following processes are sequentially performed: checking the correctness of the calculation algorithm (if necessary, entering new calculated indicators); Functional modeling of the system; Improvement of the structure of the subsystem; Conceptual modeling of the database, generation of the database model; Loading test data into the database; Creation of functional diagrams of mathematical library; Implementation of client software subsystems; Testing and debugging of software; Development of reference documentation. Managing individual tasks and monitoring the progress of their implementation in the course of collective software development is carried out on the basis of the Atlassian JIRA system. Code storage and versioning of software are performed in a remote repository on the Atlassian Bitbucket platform.

The use of modern technologies, tools and techniques for developing software products makes it possible to create functional, reliable, easy-to-use, followed, integrated systems with minimal risks and at acceptable times.

Key words: Automated information system, information-modeling system, software, development stages, flexible development methodology, CASE tools, version control system, blast-furnace production.

Создание и успешное внедрение в практику работы металлургических предприятий современных во многом зависит от используемых технологий разработки и выбора инструментальных средств их программной реализации. В большинстве случаев процесс эксплуатации на металлургических предприятиях программного обеспечения автоматизированных информационных систем, в частности, информационно-моделирующих систем, связан с необходимостью её непрерывного развития и совершенствования заложенных в нее функций (добавление новых расчетных показателей, возможность их сопоставления в различные периоды, уточнение математических моделей и настройка их параметров на условия работы топливно-сырьевой базы комбината и пр.). Поэтому разработку системы необходимо производить на основе принципов модульного программирования с учётом современных технологий и средств программной реализации [1–16].

В основу технологического подхода к разработке программного обеспечения автоматизированных информационных систем в металлургии положена, как правило, итерационная (спиральная) модель [3–6], ориентированная на большие и функционально сложные проекты с возможностью появления новых и корректировки существующих требований пользователей. Авторами используется Agile-метод [5, 6], гибкая методология разработки программного обеспечения, ориентированная на использование итеративной разработки, динамическое формирование требований и обеспечение их реализации в результате постоянного взаимодействия внутри рабочих групп, состоящих из специалистов различного профиля (пользователей, аналитиков, программистов, тестировщиков) (рис. 1).

Итерация представляет собой относительно короткий промежуток времени разработки (как правило, месяц), после окончания которого пользователям предоставляется очередная протестированная версия программного продукта с новыми функциональными свойствами. Перечень реализованных функциональных свойств является для пользователей приоритетным и формируется из общего списка требований перед началом каждой итерации. Для управления отдельными задачами (подзадачами) в ходе коллективной программной разработки использована система Atlassian JIRA. После каждой итерации программный продукт совершенствуется, в него добавляются новые функции, и новая версия демонстрируется

пользователям. Главная задача – как можно быстрее показать пользователям системы работоспособный продукт, тем самым активизируя процесс уточнения и дополнения требований.

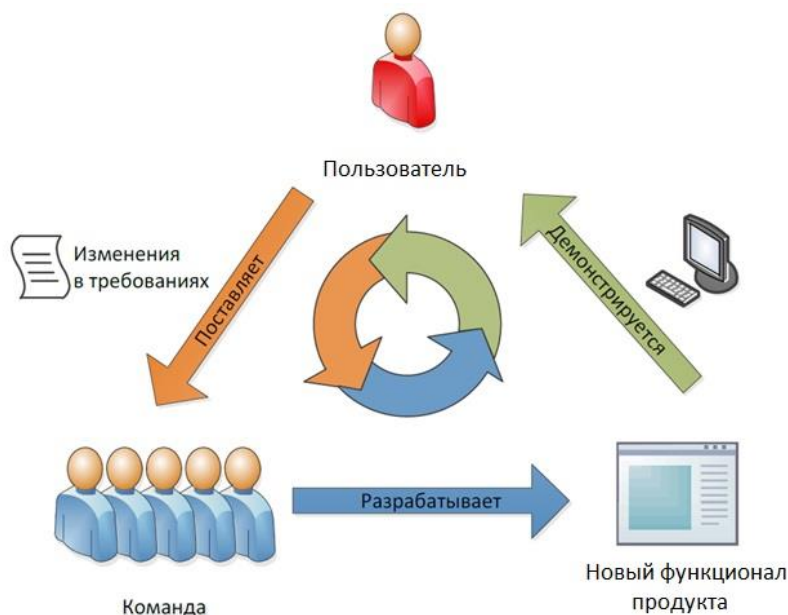


Рис. 1. Гибкая технология разработки программного обеспечения системы

В течение каждой итерации выполняется следующая последовательность технологических процессов разработки:

- 1) проверка корректности алгоритма расчёта (при необходимости ввода новых расчетных показателей);
- 2) функциональное моделирование системы [7–9];
- 3) совершенствование структуры подсистемы;
- 4) концептуальное моделирование базы данных, генерация даталогической модели базы данных [9–11];
- 5) загрузка тестовых данных в базу данных;
- 6) создание функциональных диаграмм математической библиотеки;
- 7) реализация клиентского программного обеспечения подсистемы [12–14];
- 8) формирование графических и табличных интерактивных web-отчетов [15, 16];
- 9) тестирование и отладка программного обеспечения;
- 10) разработка справочной документации.

Проверка корректности алгоритма расчёта. Средство реализации – Microsoft Excel. С использованием Excel проверяется методика расчета на основе фактических исходных данных, корректируется численный алгоритм, строятся диаграммы и графики, готовятся количественные данные для тестовых вариантов расчёта.

Функциональное моделирование системы. Средство реализации – AllFusion Process Modeler (BPwin) [7–9]. С помощью этого пакета разрабатывается функциональная модель информационно-моделирующей системы для графического представления в ней процессов расчета, обмена информацией, подготовки отчетов и пр. Функциональная модель помогает чётко документировать действия, которые необходимо предпринять в системе, способы их осуществления и контроля, требующиеся для этого ресурсы, а также визуализировать получаемые от этих действий результаты. В основу AllFusion Process Modeler заложены общепризнанные методологии моделирования, например, методология IDEF0 рекомендована к использованию Госстандартом РФ и является федеральным стандартом США. Простота и наглядность моделей Process Modeler упрощает взаимопонимание между разработчиками и заказчиками программной системы.

Архитектура и структура подсистемы. Средство реализации – Microsoft Visio. Это мощный графический редактор, удобное средство построения диаграмм и блок-схем. Благодаря современным встроенным фигурам, интеллектуальным шаблонам и образцам документов в Visio имеется широкий спектр возможностей создания архитектурных и структурных схем компьютерных подсистем.

Концептуальное моделирование базы данных, генерация даталогической модели базы данных. Средство реализации – AllFusion ERwin Data Modeler (ERwin) [9]. Это CASE-средство для проектирования и документирования баз данных, которое позволяет создавать, документировать и сопровождать базы данных.

Модели данных помогают визуализировать структуру данных, обеспечивая эффективный процесс ее организации, управления и администрирования. AllFusion ERwin Data Modeler (ERwin) позволяет получить точную и наглядную информацию, где хранятся данные и как получить к ним доступ; используя визуальные средства, описать структуру БД, а затем автоматически сгенерировать файлы данных для любого типа СУБД; тщательно задокументировать структуру базы данных.

Удобная в использовании графическая среда AllFusion ERwin Data Modeler упрощает разработку базы данных и автоматизирует множество трудоемких задач, уменьшая сроки создания высококачественных и высокопроизводительных баз данных. С помощью этого средства обеспечивается совместная работа администраторов и разработчиков баз данных, многократное использование модели, понимание данных и их обслуживание.

Загрузка тестовых данных в базу данных. Средство реализации – служба интеграции данных SQL Server Integration Services (SSIS), входящая в состав Microsoft SQL Server. Пакет службы SSIS описывает процесс получения, преобразования и загрузки/извлечения данных в базу данных. В качестве источников и получателей данных могут выступать книги Microsoft Excel, текстовые и XML-файлы, а также различные базы данных. При разработке это средство используется для автоматизации первоначальной загрузки данных в базу данных. Среда SQL Server Data Tools (SSDT) представляет собой графический инструмент разработки пакетов служб SQL Server.

Функциональные диаграммы математической библиотеки. На основе анализа требований технологического персонала, нормативно-справочной информации доменного производства, функционального моделирования создается математическое и алгоритмическое обеспечение, которое будет положено в основу программной реализации новой функции подсистемы. Структурный системный анализ и проектирование блоков математических моделей выполнены на основе процедурно-ориентированного подхода. Основой данного подхода является использование диаграмм потоков данных (DFD, Data Flow Diagrams) – информационной модели, основными компонентами которой являются потоки данных, переносящие информацию от одного модуля к другому [3]. Нотация метода DFD предполагает разбиение математической модели на отдельные функциональные компоненты (процессы) и представление их в виде сети, связанной потоками данных.

Средство реализации диаграмм – Microsoft Visio, спецификации к ним разработаны в Microsoft Word. Функциональные спецификации нужны программистам для наглядного отображения методики расчета, а также ее документирования. Каждая расчетная формула (параметр) иллюстрируется на диаграмме пронумерованным прямоугольником с отображением в виде входных стрелок всех данных для вычисления параметра. Выходная стрелка показывает для вычисления каких параметров далее используется эта величина. Саму формулу можно посмотреть в спецификации.

Реализация клиентского программного обеспечения подсистемы. Средство реализации – Microsoft Visual Studio (язык программирования C#) [13, 14]. С помощью нее разрабатываются математические библиотеки в виде dll-файлов и клиентские приложения с оконным интерфейсом в стиле Windows. Согласно подходу Agile-метода [5, 6], реализация функциональных возможностей системы проводилась постепенно, в различных версиях программного обеспечения и в соответствии с приоритетными требованиями пользователей. Контроль и управление версиями осуществлялось на платформе Atlassian Bitbucket (рис. 2).

Atlassian Bitbucket – это система, регистрирующая изменения в одном или нескольких файлах с тем, чтобы в дальнейшем была возможность вернуться к определённым старым версиям этих файлов, возвращать к прежнему состоянию весь проект, просматривать происходящие со временем изменения, определять, кто последним вносил изменения во внезапно переставший работать модуль, кто и когда внёс в код какую-то ошибку, и многое другое.

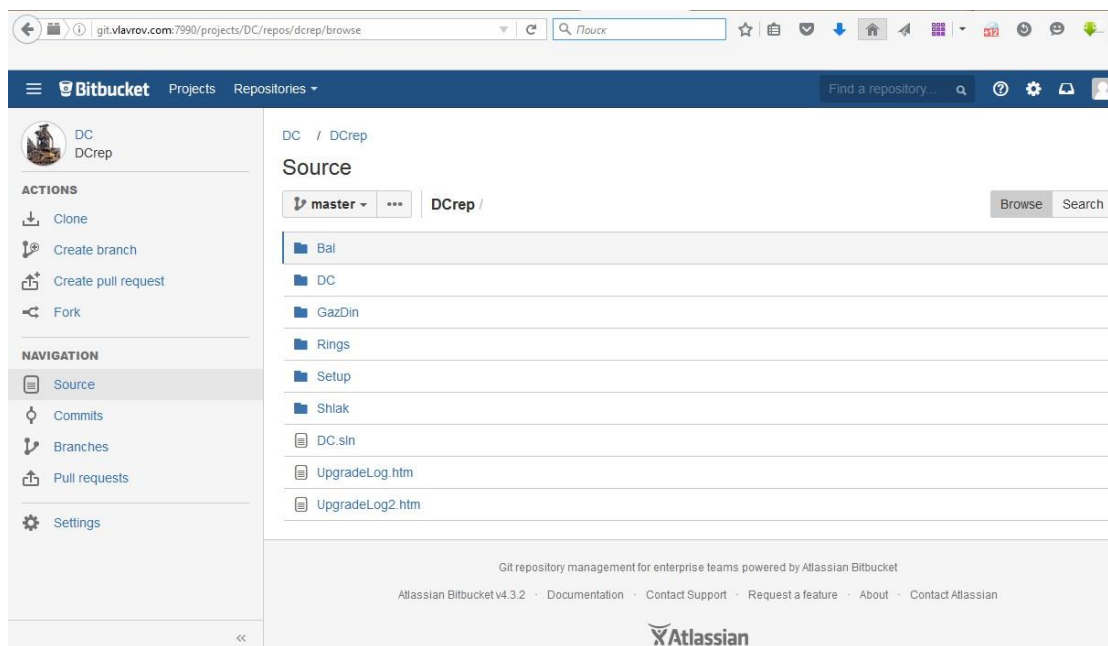


Рис. 2. Система управления версиями программного продукта Atlassian Bitbucket

Тестирование и отладка программного обеспечения. Средство реализации – Microsoft Visual Studio. Модуль тестирования используется для проверки корректности работы математических dll-библиотек, реализующих алгоритмы расчета всех подсистем. Процедура тестирования проводится по фактическим исходным данным, взятым из производственной базы данных. Правильные, «эталонные» значения расчетных показателей взяты из файла с методикой расчета в Microsoft Excel. Схематично процесс автоматизированного тестирования представлен на рисунке 3.

Формирование графических и табличных интерактивных web-отчетов. Средство реализации – служба SQL Server Reporting Services, которая входит в состав Microsoft SQL Server [15, 16]. Это программная серверная система использована для подготовки множества интерактивных и печатных web-отчетов, развертывания их в корпоративной сети предприятия.

Разработчик создает схему отчета в виде шаблона и развертывает ее на сервере отчетности. Пользователь через web-страницу может выбирать нужные поля/данные и создавать отчеты в соответствии со своими нуждами. Потом пользователи могут загружать отчеты локально, сохранять и экспортировать в популярные форматы офисных документов.

Разработка справочной документации. Средство реализации – Help&Manual. Главным преимуществом программы является ее универсальность: можно разработать файл справочной информации в любом из наиболее распространённых на сегодняшний день форматов. Интуитивно понятный интерфейс делает программу простой в освоении. Основной блок программы составляет текстовый редактор, мало отличающийся от Microsoft Word как по интерфейсу, так и по количеству возможностей.

Использование гибкой методологии разработки и вышеописанных инструментальных программных средств позволило создать и внедрить в доменном цехе ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» автоматизированную информационную систему анализа и прогнозирования производственных ситуаций (АРМ технолога доменного цеха), которая помогает инженерно-технологическому персоналу решать комплекс технологических задач, направленных, в конечном итоге, на повышение эффективности доменной плавки [17–21].

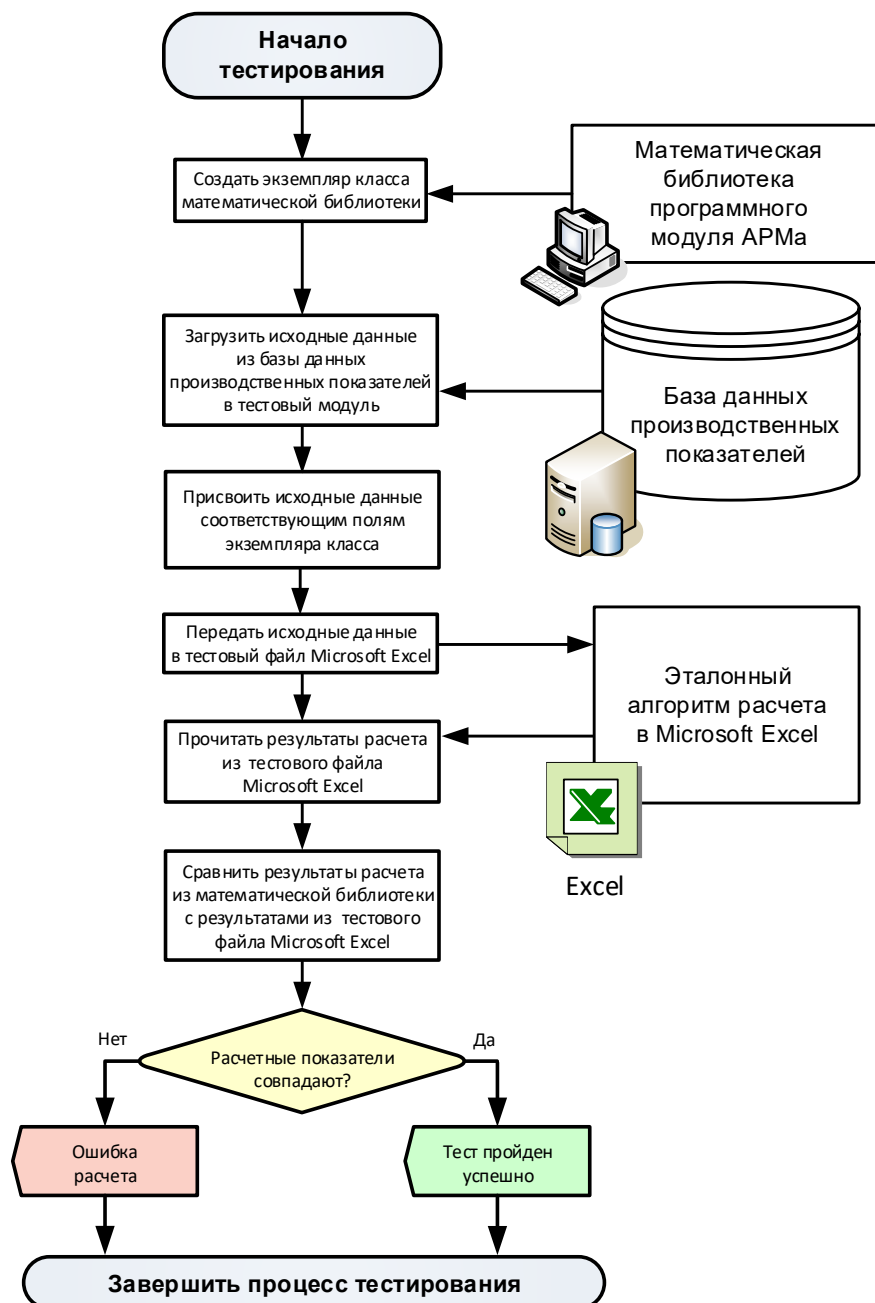


Рис. 3. Последовательность автоматизированного тестирования расчетных модулей системы

Система позволяет решать комплекс взаимосвязанных технологических задач, в частности производить: расчёт материальных и тепловых балансов доменной плавки; моделирование теплового, шлакового и газодинамического режимов работы доменных печей; оптимальные выбор состава доменной шихты; расчет зоны вязкопластичного состояния железорудных материалов и прогнозирование технологических ситуаций.

В основу реализации модельных подсистем положены алгоритмы расчёта с использованием математических моделей доменного процесса для выбранного пользователем периода работы отдельных печей или цеха в целом, подробно описанные ранее [17–21]. Каждая из этих подсистем взаимодействует с другими блоками параметров, подсистемами и внешней средой (рис. 4). Представленная структура обеспечивает заданную функциональность, выполнение требований предметной области, относительно простое расширение и изменение системы, возможность автономной реализации отдельных программных модулей и их независимость от структуры хранения данных.

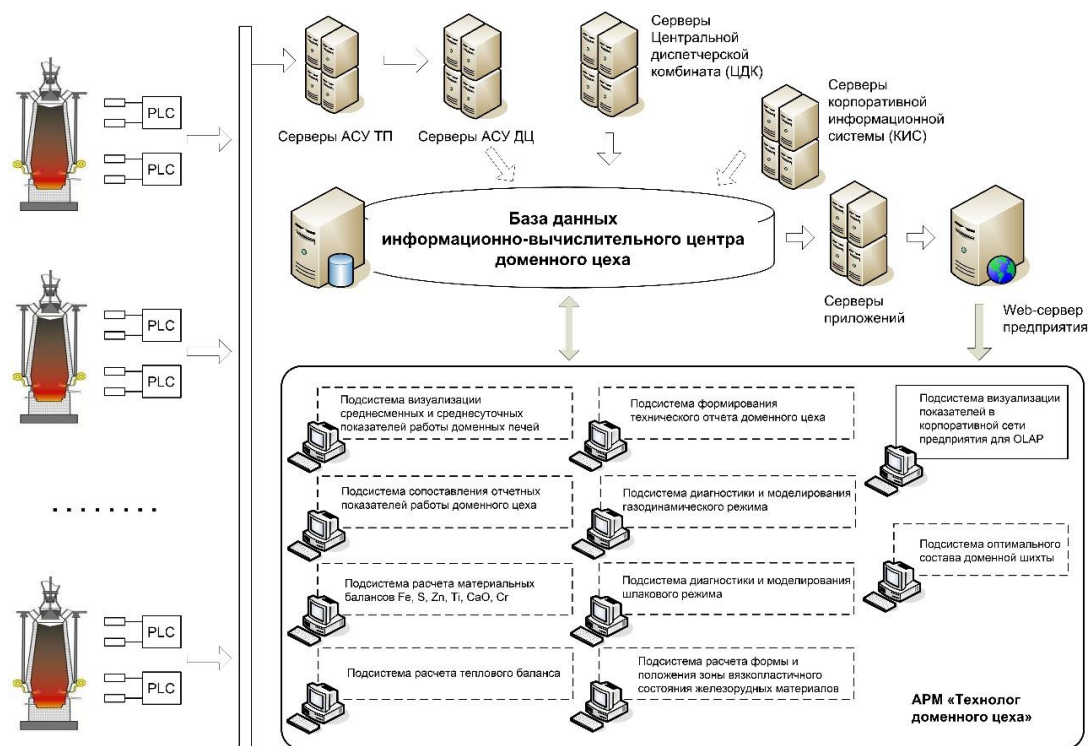


Рис. 4. Структура программного комплекса «АРМ технолога доменного цеха»

Выводы. Таким образом, гибкая методология разработки с использованием современных компьютерных инструментальных средств позволяет создавать функциональные, надежные, сопровождаемые, интегрируемые модельные системы для решения технологических задач в металлургии. Итерационный способ разработки в проектных командах, состоящих из специалистов различного профиля (пользователей, аналитиков, программистов, тестировщиков), позволяет в относительно короткие сроки создавать новые версии программного продукта с дополнительными функциональными свойствами. Перечень дополнительных функциональных свойств каждой новой версии является для пользователей приоритетным и формируется из общего списка требований перед началом каждой итерации.

Список использованных источников

1. Vyatkin V. Software engineering in industrial automation: state-of-the-art review // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2013. Vol. 9. N. 3. – Pp. 1234–1249.
2. Dimitrov B.H. Comparative analysis between methodologies and their software realizations applied to modeling and simulation of industrial thermal processes / B.H. Dimitrov, H.B. Nenov, A.S. Marinov // 36th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, MIPRO 2013; Opatija; Croatia; 20 May 2013 through 24 May 2013. Article number 6596383. – Pp. 891–895.
3. Одинцов И.О. Профессиональное программирование. Системный подход / И.О. Одинцов; 2-е изд. перераб. и доп. – СПб.: БХВ–Петербург, 2004. – 624 с.
4. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер-класс: [пер. с англ.] / С.Макконнелл. – СПб.: Питер, 2007. – 896 с.
5. Кон М. Scrum. Гибкая разработка ПО / М. Кон; пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2011. – 576 с.
6. Мейер Б. Agile! Прекрасный, ужасный, шумный / Б. Мейер; пер. с англ. и ред. В. Биллига. – Москва, Тверь: НАУ «ИНТУИТ» – ЗАО НИИ ЦПС, 2015. – 248 с.
7. Маклаков С.В. Моделирование бизнес-процессов с AllFusion Process Modeler (BPwin 4.1) / С.В. Маклаков. – М.: Диалог–МИФИ, 2004. – 220 с.

8. Дубейковский В.И. Эффективное моделирование с СА ERwin Process Modeler (BPrwin; AllFusion Process Modeler) / В.И. Дубейковский. – М.: Диалог–МИФИ, 2009. – 384 с.
9. Маклаков С.В. Создание информационных систем с AllFusion Modeling Suite / С.В. Маклаков. – М.: ДИАЛОГ–МИФИ, 2003. – 432 с.
10. Дейт К.Дж. Введение в системы баз данных. Пер. с англ. 8-е изд. / К.Дж. Дейт. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1328 с.
11. Маклаков С.В., Туманов В.Е. Проектирование реляционных хранилищ данных. – М.: Диалог–МИФИ, 2007. – 336 с.
12. Гамильтон Б. ADO.NET. Сборник рецептов. – СПб.: Питер, 2005. – 576 с.
13. Троелсен Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5. – 6-е изд. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2015. – 1312 с.
14. Флёнов М.Е. Библия C#. – 2-е изд. – СПб.: БХВ–Петербург, 2011. – 560 с.
15. Ларсон Б. Разработка бизнес-аналитики в Microsoft SQL Server 2005 / Б. Ларсон. – СПб.: Питер, 2008. – 684 с.
16. Ларсон Б. Microsoft SQL Server 2005 Reporting Services. Традиционные и интерактивные отчеты. Создание, редактирование и управление / Б. Ларсон. – М.: НТ Пресс, 2008. – 608 с.
17. Спирин Н.А. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки металлургии / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 462 с.
18. Онорин О.П. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спирин, В.Л. Терентьев [и др.]; под ред. Н. А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 301 с.
19. Спирин Н.А. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП: учебное пособие / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 558 с.
20. Информационные системы в металлургии: учебник для вузов / Н.А. Спирин, Ю.В. Ипатов, В.И. Лобанов [и др.]; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2001. – 617 с.
21. Spirin N.A. Use of contemporary information technology for analyzing the blast furnace process / N.A. Spirin, V.V. Lavrov, V.Y. Rybolovlev, A.V. Krasnobaev, A.V. Pavlov // Metallurgist. 20 October 2016. – Pp. 1–7.

УДК 536

В. Г. Лисиенко, Г. К. Маликов, Ю. К. Маликов, Е. М. Шлеймович, Д. Л. Лобанов
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАЗВИТИЕ МЕТОДА СТРУЙНО-ФАКЕЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ ДЛЯ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ И СИСТЕМ ПРЯМОГО НАГРЕВА ВОЗДУХА ДЛЯ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ

Аннотация

Представлены отечественные разработки метода струйно-факельного отопления (СФО), позволившие не только повысить КПД современных нагревательных печей до 65 %, но и радикально снизить эмиссию оксидов азота (не более 30 ppm, даже при подогреве воздуха, идущего на горение, до 650 °C). Рассмотрена ограниченная применимость традиционных горелочных устройств для прямого нагрева приточного воздуха с учетом отечественных санитарных норм. Показана эффективность использования технологии СФО для прямого нагрева воздуха (ПНВ), подаваемого на проветривание шахт, позволившая полностью отказаться от использования водяных калориферов. Концентрации вредных